


## Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten von Gegenständen und/oder deren zeitlicher Änderung

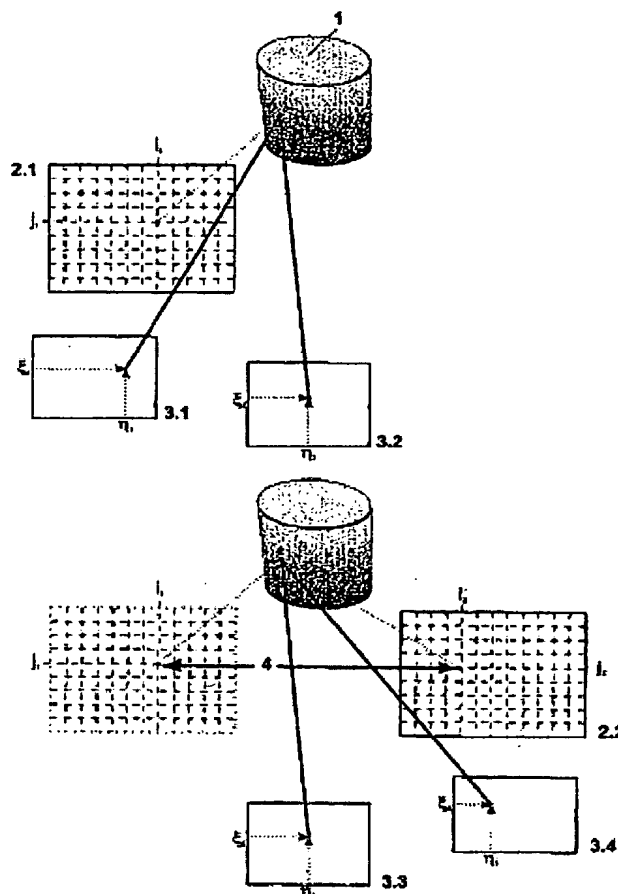
**Patent number:** DE10025741  
**Publication date:** 2001-11-29  
**Inventor:** NOTNI GUNTHER (DE); HEINZE MATTHIAS (DE)  
**Applicant:** FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE)  
**Classification:**  
- **international:** G01B11/25; G01B11/03; G01B11/245  
- **europaen:**  
**Application number:** DE20001025741 20000519  
**Priority number(s):** DE20001025741 20000519

Also published as:

 WO0190688 (A1)

### Abstract of DE10025741

A method and device for determining the spatial co-ordinates of objects and/or the variation thereof with time are disclosed, whereby the object is illuminated from at least two directions by a projector device with a light pattern, which are recorded pointwise, by means of a sensor arrangement with a two-dimensional resolution. For each recorded point on the surface, at least four phase values are determined and the spatial co-ordinates of the point and/or the variation thereof with time and characteristic values of the measuring system are thus calculated. The object is recorded for the determination of various views from various positions of the sensor arrangement, and in the case of a new position of the sensor arrangement at least one projection direction is chosen such that said direction corresponds to a projection direction from the previous sensor position. In both said projection directions the phase values are completely identical and are only recorded in different positions within the two-dimensional sensor arrangement. A linking instruction between the recording points of the sensor arrangement for the new and original position is thus generated.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

**BEST AVAILABLE COPY**



Prior Art



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 25 741 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:  
**G 01 B 11/25**  
G 01 B 11/03  
G 01 B 11/245

②① Aktenzeichen: 100 25 741.0  
②② Anmeldetag: 19. 5. 2000  
④③ Offenlegungstag: 29. 11. 2001

DE 100 25 741 A 1

⑦① Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE  
  
⑦④ Vertreter:  
PFENNING MEINIG & PARTNER GbR, 10707 Berlin

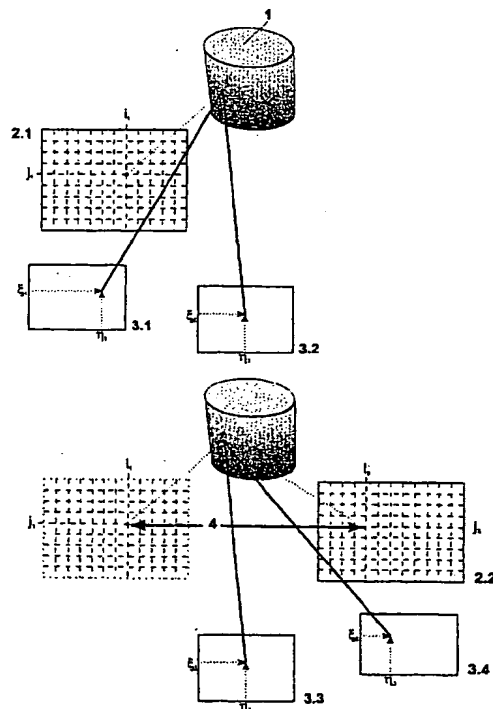
⑦② Erfinder:  
Heinze, Matthias, Dipl.-Ing., 07749 Jena, DE; Notni,  
Gunther, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 07749 Jena, DE  
  
⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 195 02 459 A1  
WO 00 26 615 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten von Gegenständen und/oder deren zeitlicher Änderung

⑤⑦ Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten von Gegenständen und/oder deren zeitlicher Änderung vorgeschlagen, bei denen der Gegenstand mit einer Projektionsvorrichtung aus mindestens zwei Richtungen mit Lichtmustern beleuchtet wird, die mit einer zweidimensional auflösenden Sensoranordnung punktwise aufgezeichnet werden. Für den jeweiligen aufgezeichneten Punkt der Oberfläche des Gegenstandes werden mindestens vier Phasenmesswerte bestimmt und daraus die räumlichen Koordinaten der Punkte und/oder deren zeitliche Änderung sowie Kenngrößen des Messsystems berechnet. Der Gegenstand wird zur Erfassung aus unterschiedlichen Ansichten bei unterschiedlichen Positionen der Sensoranordnung aufgezeichnet, und bei einer neuen Position der Sensoranordnung wird mindestens eine Projektionsrichtung so gewählt, dass sie mit einer Projektionsrichtung der vorhergehenden Position der Sensoranordnung übereinstimmt. In diesen beiden Projektionsrichtungen sind die Phasenmesswerte völlig identisch und werden nur an anderen Positionen einer innerhalb der zweidimensionalen Sensoranordnung registriert. Daraus wird eine Verknüpfungsvorschrift zwischen den Aufzeichnungspunkten der Sensoranordnung bei der neuen und der vorhergehenden Position bestimmt.



DE 100 25 741 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur berührungslosen Bestimmung der räumlichen Koordinaten von Gegenständen und/oder deren zeitlicher Änderung nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

[0002] Zur berührungslosen flächenhaften Erfassung von Oberflächenformen, Oberflächengeometrien oder Koordinaten ausgewählter Punkte werden verschiedene optische Prinzipien eingesetzt. Allen Verfahren ist dabei gemeinsam, daß die Bestimmung der 3-D-Koordinaten eines Oberflächenmesspunktes nur dann möglich ist, wenn mindestens drei unabhängige Meßwerte für diesen Punkt vorliegen. Zusätzlich gehen Annahmen über die Geometrie des Messsystems in das Ergebnis ein.

[0003] Ein Verfahren ist die klassische Streifenprojektionsstechnik, die mit einer oder mehreren CCD-Kameras und einem Projektor realisiert wird. (DE 41 20 115 C2, DE 41 15 445 A1. In derartigen Vorrichtungen werden die Gitterlinien oder Gray-Code-Sequenzen auf die zu vermessende Oberfläche projiziert. Eine CCD-Kamera registriert an jedem ihrer Empfänger Elemente die Intensität eines Bildpunktes auf der Oberfläche. Mit bekannten mathematischen Algorithmen werden aus den Intensitätsmesswerten Phasenmesswerte berechnet. Die gesuchten Objektkoordinaten können nachfolgend aus den Phasenmesswerten und den Bildkoordinaten der Messpunkte in der Bildebene des Aufnahmesystems berechnet werden. Voraussetzung dafür ist allerdings die Kenntnis der Geometrie des Messsystems (Orientierungsparameter von Projektor und Kamera) sowie der Abbildungseigenschaften der Projektions- und Abbildungsoptik.

[0004] Die Anzahl der zu bestimmenden Orientierungsparameter lässt sich erheblich einschränken, wenn ausschließlich die Phasenmesswerte zur Koordinatenberechnung verwendet werden. In solchen Systemen bestimmt die Lage eines einzelnen Empfängerelementes im Aufnahmesystem ausschließlich den Messort, wird aber als Messinformation nicht ausgewertet. Durch Beleuchtung der Szene aus mehreren, aber mindestens drei Projektionsrichtungen mit Gitterlinien oder auch Gray-Code-Sequenzen und Beobachtung mit einer oder mehreren in Bezug zum Objekt fest positionierten Kameras, lassen sich beispielsweise Koordinaten bei bekannter Geometrie des Beleuchtungssystems berechnen. In allen diesen Systemen müssen die Systemparameter (Orientierungsparameter) separat erfasst werden, wobei dies typischerweise durch eine sogenannte Vorabkalibrierung des Systems geschieht. Dabei werden Kalibrierkörper mit bekannter Geometrie vermessen, mit Hilfe derer die Geometrieparameter des Messaufbaus modelliert werden (DE 195 36 297 A1). Unbrauchbar ist diese Vorgehensweise immer dann, wenn Geometrieparameter in weiteren Messungen nicht konstant gehalten werden können, beispielsweise durch Temperatureinflüsse oder in Folge mechanischer Beanspruchung des Systems oder wenn bedingt durch die Komplexität der Messaufgabe eine variable Sensoranordnung gefordert wird und daher eine Vermessung mit vorab festgelegten Anordnungen nicht in Frage kommt.

[0005] Photogrammetrische Messverfahren überwinden die Schwierigkeit einer separaten Einmessprozedur. Als Messinformationen dienen hier die Bildkoordinaten, also die Lage der Messpunkte im Raster des Aufnahmesystems. Aus mindestens zwei unterschiedlichen Kamerapositionen müssen für einen Objektpunkt die Bildkoordinaten bekannt sein. Vorteilhaft bei diesem Messverfahren ist dabei, daß pro Messpunkt ein überzähliger Messwert gewonnen werden kann, d. h. bei zwei Kamerapositionen liegt ein Messwert mehr vor, als für die Berechnung der drei Koordinaten eines

Punktes erforderlich ist. Auf diese Weise ist es bei hinreichend vielen Messpunkten möglich, simultan Koordinaten, innere und äußere Orientierungsparameter der Kameras sowie Korrekturparameter für die Verzeichnung zu berechnen. Schwierigkeiten ergeben sich jedoch bei dem Auffinden der dazu notwendigen homologen Punkten, vor allem für sehr viele Messpunkte. Hierzu müssen in aufwendigen Bildverarbeitungsprozeduren Texturen oder Oberflächenstrukturierungen aus verschiedenen Aufnahmen in Verhältnisse gesetzt werden (DE 195 36 296 A1). Gerade für eine vollständige flächenhafte Erfassung einer Objektoberfläche ist dies nicht mit vertretbarem Aufwand möglich. Auch sind Markierungen als Verknüpfungspunkte für das Zusammenfügen der Teilansichten erforderlich.

[0006] In der DE 196 37 682 A1 wird ein System vorgeschlagen, welches diese Probleme überwindet. Dabei beleuchtet ein Projektionssystem die Szene mit einer Serie von Streifenbildern, bestehend aus zwei zueinander um 90° verdrehten Sequenzen. Solche aus zwei unterschiedlichen Positionen auf das Objekt projizierte Streifenbilder ermöglichen bei gleichzeitiger Beobachtung mit einer fest positionierten Kamera, eine Auswertung gemäß dem funktionalen Modell der Photogrammetrie. Nachteile dieses Systemkonzeptes ergeben sich vor allem bei der vollständigen Vermessung von komplexen Objekten. Mit der Komplexität des Messobjektes steigt auch die Anzahl der notwendigen Ansichten. Es ist aber nicht sinnvoll, die Anzahl der Kameras zu erhöhen, da eine Messinformation nur an einem Objektpunkt vorliegt, der sowohl aus zwei unterschiedlichen Richtungen beleuchtet wird, als auch von der Kamera beobachtet wird. Das Justieren des Messsystems, d. h. das Einrichten der erforderlichen Kameras gestaltet sich darüber hinaus umso schwieriger, je mehr Ansichten eingerichtet werden müssen. Für komplexe Messaufgaben ist ein solches vorausschauendes Einrichten des Sensorsystems nicht immer befriedigend möglich. Nachteilig bei bekannten Verfahren ist außerdem, daß das Ergebnis der Messung für eine Bewertung immer erst am Ende des kompletten Messprozesses zur Verfügung steht. Eine Zwischenauswertung und darauf aufbauend eine angepasste Positionierung des Projektors und der Kamera(s) ist dabei nicht möglich.

[0007] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten von Gegenständen und/oder deren zeitlicher Änderung und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zu schaffen, mit der eine Vermessung von komplexen Gegenständen ohne Markierungen oder Texturen und ohne das Auffinden von homologen Punkten zu schaffen, ohne daß geometrische oder optische Systemgrößen vorab bekannt sein oder kalibriert werden müssen.

[0008] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Hauptanspruchs gelöst.

[0009] Dadurch, daß der Gegenstand bzw. das Objekt jeweils aus mindestens zwei Richtungen mit einer Serie von Lichtmustern beleuchtet wird und der Gegenstand mit Lichtmustern zur Erfassung aus unterschiedlichen Ansichten bei unterschiedlichen Positionen der Sensoranordnung aufgezeichnet wird, wobei bei einer neuen Position der Sensoranordnung die Projektionsrichtung relativ zum Gegenstand in Bezug auf die vorhergehende Position nicht geändert wird, kann aus den gefundenen gleichen Meßinformationen in Form der Lichtmuster eine Zuordnungsvorschrift der Messpunkte in der Bildebene der Sensoranordnung gefunden werden. Auf diese Weise ist eine Vermessung von komplexen Objekten oder auch eine Rundumvermessung möglich. Es werden keine Markierungen oder Texturen oder auch besondere Objekteigenschaften für das Auffinden der homologen Punkte benötigt. Das Ergebnis der Messung

liegt ohne zusätzliche Matchingprozeduren in einem einheitlichen Koordinatensystem vor. Dabei ist das System selbst einmessend, es müssen vor einer Messung keinerlei geometrische oder optische Systemgrößen bekannt sein oder kalibriert werden. Die Anzahl der zu digitalisierenden Objektansichten und damit die Gesamtanzahl der Messpunkte ist nicht begrenzt. Das Objekt kann in einem schrittweisen Prozess erfasst werden, wobei nach dem Abschluss einer Kameraansicht die 3-D-Koordinaten dieser Ansicht vorliegen. Dies ermöglicht insbesondere eine Bewertung des Zwischenergebnisses im 3-D-Raum hinsichtlich Vollständigkeit. Es können darüber hinaus technische sehr einfache automatische Messsysteme aufgebaut werden, wobei diese trotzdem in der Lage sind, komplexe Objekte vollständig und flächenhaft zu erfassen.

[0010] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

[0011] Fig. 1a das erfindungsgemäße Prinzip bei der Vermessung, wobei Kamera, zwei Projektorpositionen und Gegenstand in der Ausgangsposition sind,

[0012] Fig. 1b das erfindungsgemäße Prinzip der Vermessung mit Anschlußorientierung bei neuer Position der Kamera und zwei Positionen des Projektors, wobei die letzte Projektorposition entsprechend Fig. 1a beibehalten ist,

[0013] Fig. 2 ein erstes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei der Projektor und Kamera im Raum frei beweglich sind,

[0014] Fig. 3 ein zweites Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit zwei planaren Rotationseinheiten, und

[0015] Fig. 4 ein drittes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit zwei orbitalen Rotationseinheiten.

[0016] Das erfindungsgemäße Verfahren wird im Folgenden unter Heranziehung von Fig. 1 und Fig. 2 beschrieben. Der zu vermessende Gegenstand bzw. das Objekt, das beispielsweise auf einem Messtisch befestigt ist, ist mit dem Bezugszeichen 1, ein Projektor auf einem Stativ mit 3 und eine Sensoreinrichtung, im Ausführungsbeispiel eine CCD-Kamera auf einem Stativ mit 2 bezeichnet. In Fig. 2a sind zwei verschiedene Positionen des Streifenprojektors 3 dargestellt, die Position 3.1 mit durchgezogenen Linien und die Position 3.2 in gestrichelten Linien. Die Kamera 2 nimmt in Fig. 2a die Position 2.1 ein. Der Projektor 3 projiziert auf das zu vermessende Objekt 1 oder einen Objektbereich ein oder mehrere Liniengitter und/oder Gray-Code-Sequenzen ab. Die Kamera in der Kameraposition 2.1 registriert an jedem ihrer Empfängerelemente die Intensität der auf dem Objekt 1 abgebildeten Streifenbilder als Messwerte. Anschließend wird das Gitter und/oder die Gray-Code-Sequenz um 90° gedreht und erneut auf den Gegenstand 1 projiziert, wobei die Drehachse parallel zur Gitternormalen liegt. In Fig. 2a sind nur zwei Projektorpositionen 3.1 und 3.2 dargestellt, die die Beleuchtungsrichtung bestimmen, üblicherweise werden weitere Projektorpositionen vorgesehen, bei denen die Liniengitter bzw. die Gray-Code-Sequenzen mit entsprechender zwischenzeitlicher Drehung um 90° auf das Objekt 1 projiziert werden. Der Standpunkt der Kamera 2 bleibt dabei relativ zum Objekt unverändert, die Intensitätsmesswerte werden von der Kamera 2 immer am gleichen Element auf der Objektoberfläche registriert, wobei die Lage der Empfängerelemente i, j (siehe Fig. 1a) den Ort der Objektoberfläche, an dem gemessen wird, bestimmt.

[0017] Fig. 1a stellt die Ausgangsposition bei der Vermessung entsprechend Fig. 2a dar, wobei die Kamera 2.1 mit einem Raster aus Empfängerelementen i, j das Objekt 1 beob-

achtet. In jeder Projektorposition werden bedingt durch die zwischenzeitliche Drehung des Liniengitters bzw. der Gray-Code-Sequenz und mit bekannten Algorithmen grundsätzlich pro Empfängerelement der Kamera zwei Messinformationen  $\xi_i$ ,  $\eta_i$  gewonnen in Form von Phasenmeßwerten, die Koordinaten in der Gitterebene des Projektionssystems entsprechen.  $\xi_i$  ist der Phasenmesswert in der einen Stellung des Liniengitters bzw. der Gray-Code-Sequenz (erste Sequenz) und  $\eta_i$  der Phasenmesswert des um 90° verdrehten Gitters bzw. Gray-Code-Sequenz (zweite Sequenz) in einer Serie von Projektorpositionen ( $i = 1..n$ ). Aus den zwei in Fig. 2a dargestellten unterschiedlichen Projektorpositionen 3.1, 3.2 stehen im Raster der Kamera nach der Projektion die Phasenmeßwerte  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  und  $\eta_1$ ,  $\eta_2$  zur Verfügung.

[0018] Für die Auswertung der Phaseninformation hinsichtlich der Berechnung der 3-D-Koordinaten ist es erforderlich, die Geometrieparameter des Projektionssystems zu kennen. Die Raumlage der einzelnen Projektorpositionen wird durch sechs äußere Orientierungsparameter (drei Koordinaten der Projektionszentren, drei Euleresche Drehwinkel um die mitgedrehten Koordinatenachsen) festgelegt. Zur Berechnung dieser Geometrie-Größen wird mit funktionalen Modellen der Photogrammetrie ein Gleichungssystem aufgestellt. Als Eingangsgrößen dienen die gemessenen bzw. aus den Messwerten berechneten Phasenwerte. Werden in der in Fig. 1a und Fig. 2a dargestellten ersten Kameraposition 2.1 als erste Ansicht mindestens aus den zwei Beleuchtungsrichtungen 3.1, 3.2 Streifenbilder in beschriebener Weise projiziert, so können 3-D-Koordinaten berechnet werden. Die Auswertung läßt sich in folgenden Schritten zusammenfassen:

1. Mit bekannten Phasenberechnungs- und Verstetigungsalgorithmen gegebenenfalls unter Zuhilfenahme der Gray-Code-Sequenzen werden Phasenbilder bzw. Phasenwertdifferenzen für jede Beleuchtungsrichtung berechnet.
2. Die so berechneten Phasendifferenzen werden durch  $2\pi$  dividiert und mit dem Linienabstand des Gitters multipliziert. An die so berechneten Phasenmeßwerte wird ein Offset in der Weise angebracht, daß der Phasennullpunkt des im Durchstoßungspunkt der optischen Achse durch die Gitterebene des Projektors liegt. Die so gewonnene Bildinformation entspricht Koordinaten in der Gitterebene des Projektionssystems wie sie aus der Photogrammetrie bekannt sind.
3. Eine Auswahl von Phasenmeßwerten nach bestimmten Kriterien ist notwendig, wenn die Anzahl der Messpunkte sehr hoch ist. Diese Auswahl kann in einem vordefinierten Raster von Bildelementen der Kamera, anhand von Qualitätskriterien der Phasenbilder, wie z. B. Modulation oder interaktiv, d. h. an beliebig über das Messfeld verteilten Punkten vorgenommen werden.
4. Mit den in Schritt 3 gewonnenen Phasenmeßwerten werden mit bekannten photogrammetrischen Bündelblockausgleichsalgorithmen die Orientierungsparameter des Projektors berechnet. Zusätzlich können auch Korrekturparameter für Abbildungsfehler der Projektoroptik bestimmt werden.
5. An jedem Sensorelemente der Kamera kann nun ein Gleichungssystem gelöst werden, wenn mindestens drei Phasenmeßwerte bekannt sind. Die Eingangsgrößen dieses Gleichungssystems sind die in Schritt 2 gewonnenen Phasenmeßwerte, die Orientierungsparameter und gegebenenfalls Korrekturparameter der Projektoroptik die aus Schritt 4 bekannt sind.

[0019] Als Ergebnis werden die 3-D-Koordinaten für die erste Objektansicht erhalten, die zur Verfügung stehen und mit geeigneten Darstellungsprogrammen angezeigt und bewertet werden können. Alle Koordinaten liegen in einem Koordinatensystem, so daß mit Abschluß der Koordinatenberechnung keine weitere Nachbearbeitung mehr notwendig ist.

[0020] Für eine weitere Objektansicht ist es nun notwendig, eine neue Kameraposition einzustellen. Dies ist in Fig. 1b und Fig. 2b dargestellt. Die Position der letzten Beleuchtungsrichtung bzw. der letzten Projektorposition 3.2 wird beibehalten und die Kamera 2 wird von der Position 2.1 in die Position 2.2 versetzt. Da die letzte Projektorposition 3.2 gleich 3.3 (Fig. 1b) beibehalten wird, kann eine Anschlußorientierung erreicht werden. Wenn die Kamera in die neue Position 2.2 verschoben wird, verändert sich die Zuordnung von Pixelindex der Kamera  $i_2$  und  $j_2$  und Objekt. Eine durch das Bezugszeichen 4 in Fig. 1b angedeutete Rücktransformation wird über die Phasenmeßwerte des Projektors erreicht, da die Projektorposition 3.2 in Fig. 1a und 3.3 in Fig. 1b exakt die gleichen Phasenmeßwerte  $\xi$ ,  $\eta$  liefern.

[0021] Um auch 3-D-Koordinaten für diese zweiten Ansicht, d. h. Position 2.2 der Kamera 2 zu erhalten, ist es wieder notwendig, die mindestens benötigten zwei Projektorpositionen für diese Ansicht einzustellen. Dies wird in Fig. 2c und in Fig. 1b durch die Beleuchtungsrichtung 3.4 erhalten werden. Entsprechend Fig. 2c bleibt die Position 2.2 der Kamera 2 unverändert und der Projektor 2 wird aus der Position 3.3 in die Position 3.4 verschoben. Die Verknüpfung der beiden Ansichten entsprechend Fig. 1a und Fig. 1b ist nach folgendem Ablaufschema möglich:

1. Auffinden von gleichen Phasenmeßwerten in den beiden Objektansichten, wobei dies dann gegeben ist, wenn die beiden Ansichten überlappende Bereiche aufweisen.
2. Die gefundenen gleichen Phasenmeßwerte in den beiden Objektansichten definieren eine Zuordnungsvorschrift, die über die Pixelindizes des Aufnahmesystems an denen gleiche Phasenmesswerte gefunden wurden, womit sich eine Anschlußorientierung der neuen Objektansicht erreichen läßt. In der Projektionsrichtung 3.2 in Fig. 1a wird in der Objektansicht 2.1 an der Pixelposition  $i_1, j_1$  die Phasenmesswerte  $\xi_2, \eta_2$  registriert. Wird nun, wie in Fig. 1b dargestellt, das Aufnahmesystem versetzt um eine neue Objektansicht zu erreichen (2.2) aber die Projektionsrichtung beibehalten, so werden nun an einer neuen Pixelposition  $i_2, j_2$  die gleichen Phasenmesswerte  $\xi_2, \eta_2$  erhalten. Die Zuordnungsvorschrift besagt dann, daß über die gleichen Phasenmesswerte  $\xi_2, \eta_2$  die Pixelposition  $i_1, j_1$  der Pixelposition  $i_2, j_2$  zugeordnet werden kann.
3. Die nun folgende mindestens eine Beleuchtungsposition (Position 3.4) muß mit den Beleuchtungsposition der ersten Ansicht in einem einheitlichen Koordinatensystem orientiert werden. Das ist die Voraussetzung für ein einheitliches Koordinatenfeld. Mit der aus Schritt 2 gewonnenen Zuordnungsvorschrift können die für die Anschlußorientierung notwendigen Phasenmeßwerte gewonnen werden.
4. Zusätzlich können aber auch in der neuen Ansicht neue Punkte ausgewählt werden, die als Verknüpfungspunkte für eine nachfolgende Ansicht dienen, wenn die nächste Ansicht die Verknüpfungspunkte beinhaltet.

[0022] Die Messvorschrift des wechselseitigen, aber niemals gleichzeitigen Umsetzens von Projektor und Kamera kann nun fortgesetzt werden, bis das Objekt in genügender

Weise vollständig vermessen ist. Der Benutzer kann die Vollständigkeit der Messung jederzeit beurteilen, da die Zwischenergebnisse jederzeit verfügbar sind. Mit dieser oben beschriebenen Messvorschrift ist es möglich, eine klastungsfreie Zuordnung zu der jeweils vorhergehenden Ansicht zu schaffen. Weiterhin ist kein interaktives Auffinden von Strukturmerkmalen oder Texturen auf dem Objekt notwendig und das Aneinanderfügen der Einzelansichten ist völlig unabhängig von den Eigenschaften des Objektes. In Fig. 3 ist ein zweites Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Durchführung des oben beschriebenen Verfahrens dargestellt. Dabei ist das Objekt 1 auf einem Objektisch 5 in der Mitte von zwei konzentrischen Dreh- oder Rotationseinheiten 6, 7 angeordnet. Diese Rotationseinheiten 6, 7 sind unabhängig voneinander um den Objektisch 5 herum verdrehbar. Der Projektor 3 ist an einem mit der Rotationseinheit 6 verbundenen Ständer befestigt, während die Kamera 2 an einem mit der Rotationseinheit 7 verbundenen Ständer 9 befestigt. Projektor 3 und Kamera 2 sind an den jeweiligen Ständern 8, 9 in der Höhe verstellbar, vorzugsweise sind sie auf Schienen befestigt, die eine variable Einstellung der Beobachtungs- bzw. Projektionshöhe ermöglichen. Durch geeignete Wahl der Befestigung ist eine Justage, d. h. das Einrichten der Projektions- bzw. Abbildungsfelder auf das Messobjekt 1 möglich.

[0023] Die notwendigen Schritte für eine Formvermessung nach dem oben beschriebenen Prinzip sind wie folgt. Zur Aufnahme der ersten Objektansicht wird die Kamera 2 durch Drehen der Rotationseinheit 7, durch Höhenverschiebung und Ausrichtung positioniert. Für die Projektion der Streifensequenzen wird der Projektor 3 in entsprechender Weise durch Drehen der Rotationseinheit 6 und Verschieben des Projektors 3 an dem Ständer 8 positioniert. Es werden, wie beschrieben, Gittersequenzen projiziert und die Kamera digitalisiert an den sichtbaren beleuchteten Objektpunkten Intensitätswerte. Ist die letzte Projektionsrichtung einer Ansicht erreicht, bewegt sich die Kamera 2 zur Aufnahme einer weiteren Objektansicht, wobei die Position des Projektors 3 unverändert bleibt. Dieser Ablauf wird solange wiederholt, bis die vorgegebene Anzahl von Objektansichten, d. h. Kamerapositionen erreicht wurde oder durch die algorithmische Auswertung der 3-D-Messdaten das Objekt als vollständig vermessen klassifiziert wurde.

[0024] Fig. 4 zeigt eine weitere Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Entsprechend der Figur sind zwei orbitale Rotationseinheiten 10, 11 vorgesehen, die unabhängig voneinander drehbar gelagert sind und die jeweils halbkreisförmig sind und vorzugsweise als Schienen ausgebildet sind. Der Projektor 3 und die Kamera 2 sind jeweils an den Schienen verschieblich gelagert, so daß ihre Positionierung innerhalb der Schienen uneingeschränkt möglich ist. Die schienenförmigen Rotationseinheiten 10, 11 sind mindestens um  $180^\circ$ , gegebenenfalls um  $360^\circ$  über Antriebe 12, 13 drehbar. Die Lage des das Messobjekt aufnehmenden Objektisches ist positionsneutral in Bezug auf die beiden Rotationseinheiten 10, 11. Durch diese Anordnung wird eine vollständige Rundumvermessung des Objektes ermöglicht. Sowohl die Kamera 2 als auch der Projektor 3 können durch Drehen der jeweiligen Rotationseinheit 10, 11 und Verschieben innerhalb der jeweiligen Schiene an jeden beliebigen Ort im Orbit des Messobjektes positioniert werden. Entscheidend ist weiterhin, daß bei einer Neupositionierung von Kamera oder Projektor keine neue Ausrichtung des Bildfeldes auf das Messobjekt notwendig ist. Auch die Nachjustierung der entsprechenden Optik entfällt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten von Gegenständen und/oder deren zeitlicher Änderung, bei dem der Gegenstand mit einer Projektionsvorrichtung aus mindestens zwei Richtungen mit Lichtmustern beleuchtet wird, die mit einer zweidimensional auflösenden Sensoranordnung punktweise aufgezeichnet werden und wobei für den jeweiligen aufgezeichneten Punkt der Oberfläche des Gegenstandes mindestens vier Phasenmesswerte bestimmt und daraus die räumlichen Koordinaten der Punkte und/oder deren zeitliche Änderung sowie Kenngrößen des Messsystems berechnet werden, **dadurch gekennzeichnet,**

daß der Gegenstand zur Erfassung aus unterschiedlichen Ansichten bei unterschiedlichen Positionen der Sensoranordnung aufgezeichnet wird, daß bei einer neuen Position der Sensoranordnung (2) mindestens eine Projektionsrichtung so gewählt wird, daß sie mit einer Projektionsrichtung der vorhergehenden Position der Sensoranordnung übereinstimmt, wobei in diesen beiden Projektionsrichtungen die Phasenmeßwerte völlig identisch sind und nur an anderen Positionen einer innerhalb der zweidimensionalen Sensoranordnung registriert werden und daraus eine Verknüpfungsvorschrift zwischen den Aufzeichnungspunkten der Sensoranordnung (2) bei der neuen und der vorhergehenden Position bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß nach Einstellen einer neuen Position der Sensoranordnung (3) zur Abfassung des Objektes (1) aus einer anderen Ansicht die letzte Position des Projektors relativ zum Objekt bei der vorhergehenden Position der Sensoranordnung nicht geändert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Verknüpfungsvorschrift oder auch Zuordnungsvorschrift zur Verknüpfung der erhaltenden Ansichten in ein gemeinsames Koordinatensystem durch Rücktransformation über die Lichtmuster oder auch Phasenmeßwerte des Projektionssystems bestimmt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Gegenstand aus jeder Projektionsrichtung in einem ersten Schritt mit einem Liniengitter und/oder Gray-Code-Sequenzen und in einem zweiten Schritt mit dem um 90° versetzten Liniengitter und/oder um 90° versetzten Gray-Code-Sequenzen beleuchtet wird.

5. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit mindestens einer Sensoreinheit (2), mindestens einer Projektoreinheit (3) und einem den zu vermessenden Gegenstand aufnehmenden Messtisch (5) sowie eine Auswerteeinrichtung, die abhängig von den Informationen der Sensoreinheit und der Projektoreinheit die dreidimensionalen Koordinaten des Objektes berechnet, wobei die Projektoreinheit (3) und die Sensoreinheit (2) unabhängig frei voneinander beweglich sind.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit einer Sensoreinheit (2), mindestens einer Projektoreinheit (3) und einem den zu vermessenden Gegenstand aufnehmenden Messtisch (5) sowie eine Auswerteeinrichtung, die abhängig von den Informationen der Sensoreinheit und der Projektoreinheit die dreidimensionalen Koordinaten des Objektes berechnet, wobei die Projektoreinheit (3) und die Sensoreinheit (2) auf jeweils einer Dreheinheit (6, 7) angeordnet sind, in deren

Mittelpunkt sich der Messtisch (5) befindet und die unabhängig voneinander verdrehbar sind.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Dreheinheiten (6, 7) planar sind und auf den Dreheinheiten (6, 7) Translationseinheiten (8, 9) befestigt sind, an denen die Sensoreinheit (2) und die Projektoreinheit (3) unabhängig voneinander in der Höhe verschiebbar sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Dreheinheiten (10, 11) orbitale Dreheinheiten sind, die kreisbahnförmig ausgeführt sind und an denen die Projektionseinheit und die Sensoreinheit unabhängig voneinander kreisbahnförmig verschiebbar sind.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

Fig. 1a

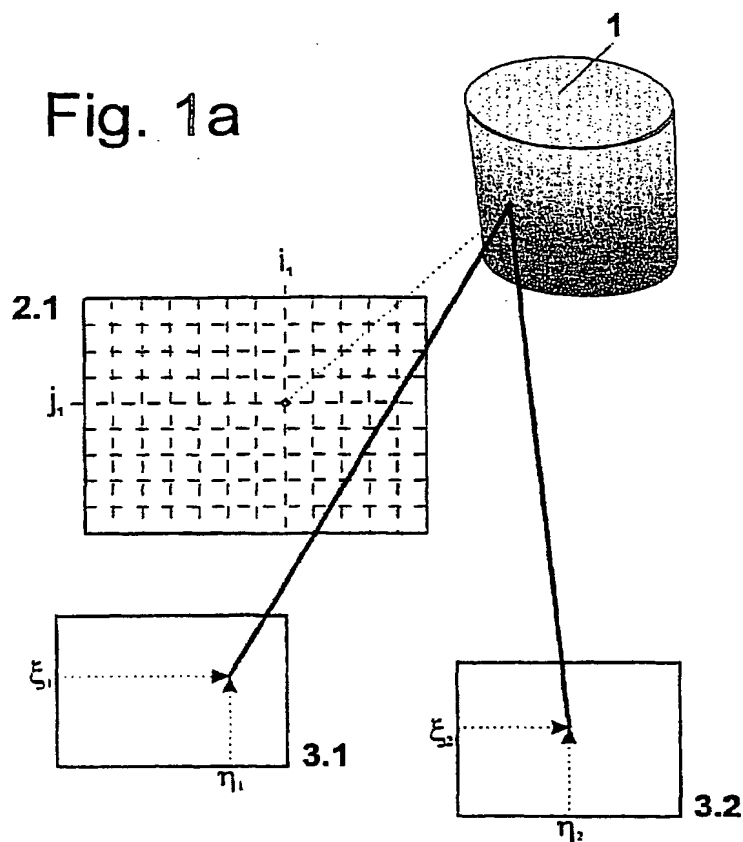
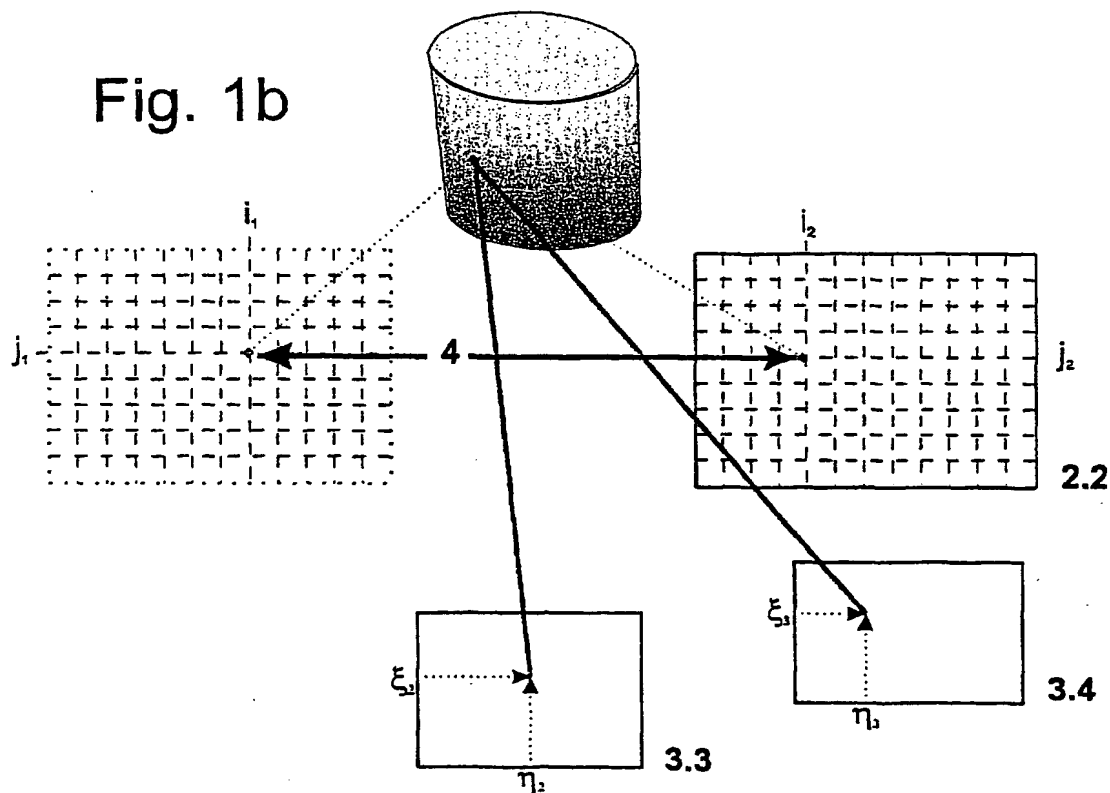


Fig. 1b





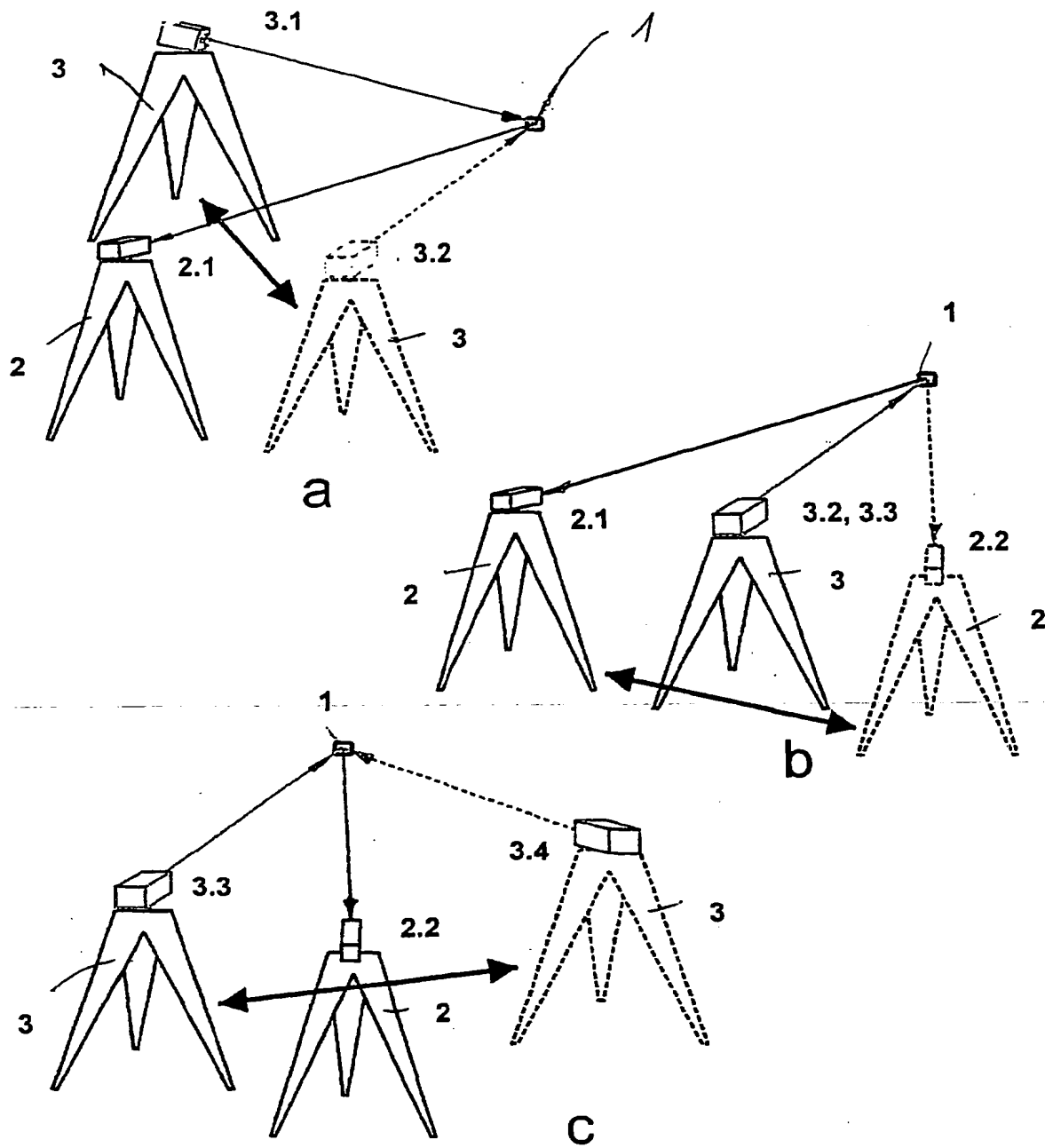


Fig. 2

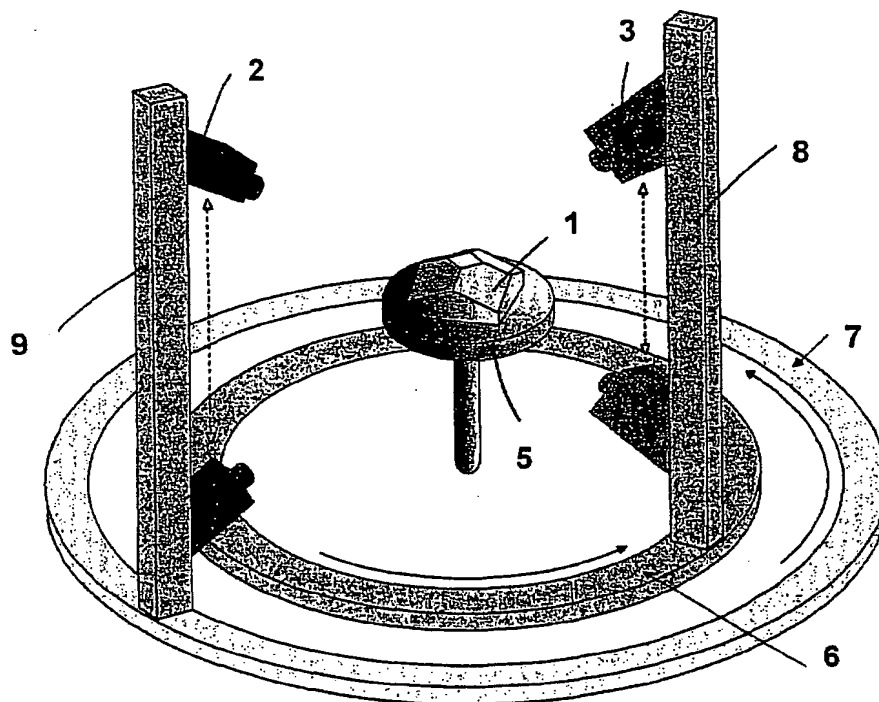


Fig. 3

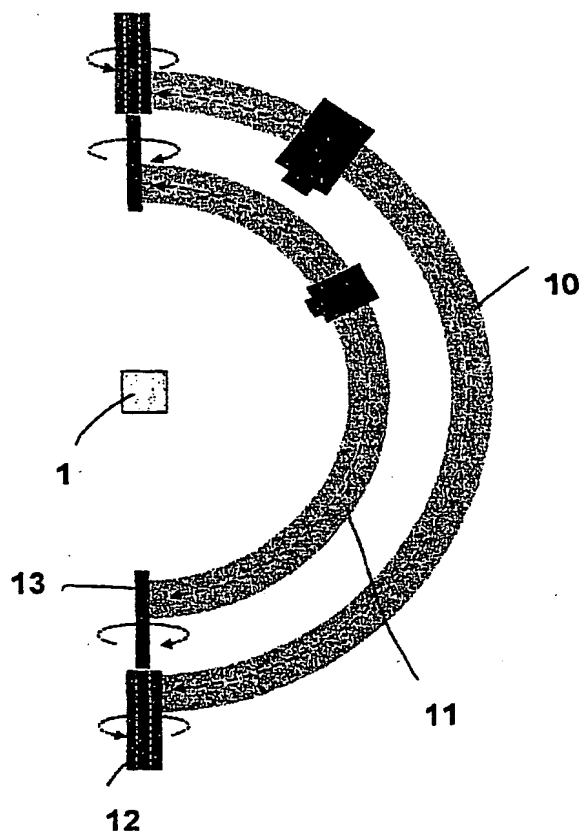


Fig. 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**This Page Blank (uspto)**